

Научная статья

УДК 669.71

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НОВОГО ДЕФОРМИРУЕМОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ AL–CU–ER

**Сайед Мохамед Амер, Андрей Геннадьевич Мочуговский, Ольга Анатольевна Яковцева, Руслан Юрьевич Барков, Андрей Владимирович Поздняков<sup>1</sup>**

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,  
Москва, Россия

<sup>1</sup> *pozdniakov@isis.ru*

**Аннотация.** Были исследованы структура и свойства нового деформируемого сплава Al–4.0Cu–2.7Er–0.8Mn–0.2Zr–0.1Ti–0.15Fe–0.15Si–0.8Mg. посредством термомеханической обработки в листах формируется гетерогенная структура с бимодальным распределением частиц по размерам, включая частицы стабильных фаз кристаллизационного происхождения размером 1–5 мкм и наноразмерные дисперсоиды фаз Al<sub>3</sub> (Zr, Er) и Al<sub>20</sub>Cu<sub>2</sub>Mn<sub>3</sub>. Листы демонстрируют повышенную технологичность при литье, термическую стабильность зеренной структуры и высокий уровень прочностных характеристик.

**Ключевые слова:** алюминиевые сплавы, редкоземельные металлы, рекристаллизация, механические свойства, микроструктура

**Финансирование:** работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19–79–10242).

Original article

## STRUCTURE AND PROPERTIES OF A NEW DEFORMABLE ALLOY BASED ON THE AL–CU–ER SYSTEM

**Syed Mohamed Amer, Andrey Gennadievich Mochugovsky, Olga Anatolyevna Yakovtseva, Ruslan Yurievich Barkov, Andrey Vladimirovich Pozdnyakov<sup>1</sup>**

National Research Technological University “MISIS”, Moscow, Russia

<sup>1</sup> *pozdniakov@isis.ru*

**Abstract.** The current work focuses on the structure and properties of a new wrought Al–4.0Cu–2.7Er–0.8Mn–0.2Zr–0.1Ti–0.15Fe–0.15Si–0.8Mg alloy. After a thermomechanical treatment the obtained sheets exhibited bimodal particle size distribution with coarse particles of crystallization origin and nanoscale dispersoids of the Al<sub>3</sub> (Zr, Er) and Al<sub>20</sub>Cu<sub>2</sub>Mn<sub>3</sub> phases. The sheets demonstrated increased thermal stability of structure and improved mechanical properties.

**Keywords:** aluminum alloys, rare earth metals, recrystallization, mechanical properties, microstructure

**Funding:** this work was financially supported by the Russian Science Foundation (project № 19–79–10242).

Легирование алюминиевых сплавов добавками редкоземельных металлов (РЗМ) является перспективным направлением в материаловедении. Добавки Ce, Y, Er позволяют повысить технологичность при литье алюминиевых сплавов [1; 2], а также обеспечивают дисперсионное упрочнение при термической обработке слитков за счет распада пересыщенного твердого раствора и формирования наноразмерных дисперсоидов интерметаллических фаз [3]. Эффективность добавок РЗМ для повышения механических свойств показана ранее для чистого алюминия, сплавов системы Al–Mg, Al–Cu. Отмечается, что введение РЗМ совместно с добавками Zr, Sc или Mn позволяет дополнительно повысить прочностные характеристики сплавов за счет формирования дисперсоидов с более сложным составом.

В данной работе исследован сплав Al–4.0Cu–2.7Er–0.8Mn–0.2Zr–0.1Ti–0.15Fe–0.15Si–0.8Mg. Слиток получен методом дополнительного литья в медную водоохлаждаемую изложницу. Температура разливки — 780 °С. После кристаллизации основной структурной составляющей в сплаве появлялся твердый раствор на основе алюминия. Также в структуре выявлены фазы эвтектического происхождения, обогащенные медью, эрбием и магнием. Сплав имеет узкий интервал кристаллизации (около 50 °С), что обеспечивает высокую технологичность при литье.

Полученный слиток подвергали отжигу при температуре 575 °С в течение 3 ч с последующей закалкой. Отжиг обеспечивал частичную фрагментацию и сфероидизацию фаз кристаллизационного происхождения.

В процессе гомогенизационного отжига наблюдали выделение из пересыщенного твердого раствора дисперсоидов фаз Al<sub>3</sub> (Zr, Er) и Al<sub>20</sub>Cu<sub>2</sub>Mn<sub>3</sub>. Последующая термомеханическая обработка приводила

к дроблению и фрагментации фаз кристаллизационного происхождения с формированием частиц с размером 1–5 мкм. Благодаря наноразмерным дисперсоидам полученные листы демонстрировали повышенную стабильность зеренной структуры. Отжиг листов при температурах ниже 350 °С не приводил к рекристаллизации.

Анализ механических свойств осуществляли после отжига листов в интервале температур 150–210 °С и времени выдержки 0,5–6 ч. Наибольшие прочностные характеристики наблюдаются после отжига при температуре 150 °С в течение 6 ч: предел текучести —  $376 \pm 4$  МПа, предел прочности —  $409 \pm 7$  МПа при относительном удлинении  $4,5 \pm 1,2\%$ .

### Список источников

1. Pozdniakov A. V., Barkov R. Yu. Microstructure and materials characterisation of the novel Al–Cu–Y alloy // Mater. Sci. and Tech. 2018. V. 34. P. 1489–1496.
2. Comparative Analysis of Structure and Properties of Quasibinary Al–6.5Cu–2.3Y and Al–6Cu–4.05Er Alloys / S. M Amer [et al.] // Phys. of Met. and Metall. 2020. V. 121. P. 476–482.
3. Synergetic effect of Er and Zr on the precipitation hardening of Al–Er–Zr alloy / S. P. Wen [et al.] // Scr. Mater. 2011. V. 65. P. 592–595.